

Hertentamen Optica, 11 april 2016

1. Vis in rechthoekig aquarium

Als we naar een vis in een aquarium kijken lijkt de vis dichterbij het glas te zitten dan hij in werkelijkheid zit. We bekijken dit effect voor een rechthoekig aquarium met een glazen wand (brekingsindex $n_{glas} > n_{water}$) gevuld met water (brekingsindex n_{water}).

- Teken de stralengang waarmee je deze schijnbare verplaatsing eenvoudig kunt begrijpen, onder de aanname dat we de dikte van het glas mogen verwaarlozen. (1 punt)
- Bepaal de verhouding tussen de schijnbare en de werkelijke positie van de vis, onder dezelfde aanname, door gebruik te maken van de standaard formule voor afbeelding door een grenslaag tussen twee media. (2 punten)
- Teken ook de stralengang voor het geval dat het glas ($n_{glas} > n_{water}$) dikker is en je de dikte van het glas meeneemt in je analyse. (1 punt)

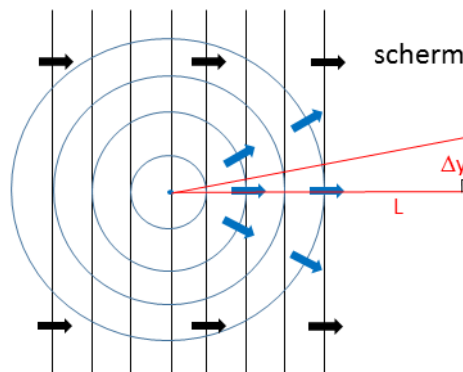
2. Newton's formule voor afbeeldingen

Newton gebruikte een alternatieve vorm van de afbeeldingsformule, die hij schreef als $x_1 x_2 = f^2$, waarbij x_1 en x_2 , respectievelijk, de afstand van het voorwerp en beeld tot de bijbehorende foci zijn.

- Gebruik de standaard vorm van de afbeeldingsformule om aan te tonen dat de alternatieve vorm van Newton klopt. (1 punt)
- Druk de beeldvergroting uit in termen van de genoemde grootheden en let daarbij ook op de tekens. (1 punt)

3. Interferentie tussen vlakke golf en bolgolf

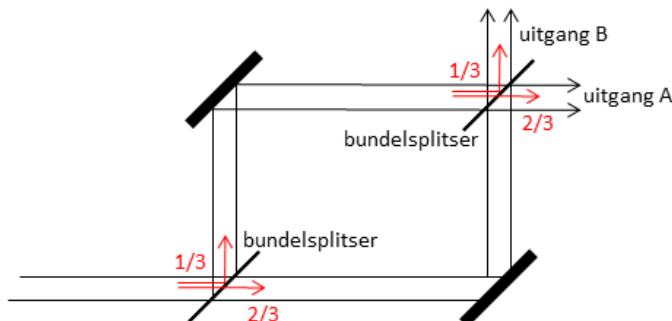
Een klein stofje in de lucht wordt belicht met een brede laserbundel. Het stofdeeltje verstrooit een klein deel van het invallende licht in de vorm van een bolgolf die interfereert met de vlakke golf van de laserbundel. We analyseren het interferentiepatroon tussen deze twee golven op een scherm op een afstand L van het stofdeeltje voor licht met een golflengte λ . (zie figuur)



- Teken een 2-dimensionaal plaatje van het verwachte interferentiepatroon op het scherm en let daarbij vooral goed op de onderlinge afstanden in dit patroon. (2 punten)
- Laat zien dat de afstand Δy tussen het nulpunt en eerste orde maximum wordt gegeven door $\Delta y \approx \sqrt{2\lambda L}$ als het verstrooide licht bij het stofdeeltje in fase is met het invallende licht. (2 punten)

4. Mach-Zehnder interferometer met ongebalanceerde bundelsplitser

In een Mach-Zehnder interferometer wordt een inkomende laserbundel met intensiteit I_0 gesplitst op de eerste bundelsplitser en wordt dit licht later weer samengevoegd op de tweede bundelsplitser. Beide bundelsplitters reflecteren $1/3$ van de intensiteit en laten $2/3$ van de intensiteit door (zie figuur). De intensiteit in de twee uitgangen (A en B) varieert sinusvormig als functie van het padlengteverschil in de interferometer.



- (a) Bepaal de maximale en minimale intensiteit in uitgang A in termen van I_0 . (2 punten)
- (b) Bepaal de maximale en minimale intensiteit in uitgang B in termen van I_0 . (2 punten)

5. Reflectie en transmissie van $\lambda/4$ plaatje

We beschouwen de reflectie van lineair gepolariseerd licht met een golflengte $\lambda = 600$ nm bij loodrechte inval op een dun plaatje dubbelbrekend materiaal. Voor het eerste experiment gebruiken we licht met een polarisatie langs de snelle as van het dubbelbrekende plaatje; de brekingsindex voor dit licht is $n_f = 1.500$; noem de dikte van het plaatje d .

- (a) Geef een algemene formule voor de dikte van het plaatje waarbij de reflectie minimaal is. (1 punt)
- (b) Hoe groot moet het verschil in brekingsindex langs de snelle as en de trage as zijn om er voor te zorgen dat een $50 \mu\text{m}$ dik plaatje werkt als een nulde-orde $\lambda/4$ plaatje? (1 punt)
- (c) Wat is de polarisatietoestand van het licht na transmissie door dit plaatje, bij de hierboven genoemde belichting? (1 punt)
- (d) Wij draaien het plaatje nu over 45° , maar veranderen de belichting niet. Wat is nu de polarisatietoestand van het doorgelaten licht? (1 punt)
- (e) Wat is de polarisatietoestand van het licht dat aan de achterkant van het plaatje reflecteert en er aan de voorkant weer uitkomt? (1 punt)
- (f) Wat betekent dit voor de reflectie van het plaatje als geheel (weer onder loodrechte inval)? Beredeneer je antwoord. (1 punt)

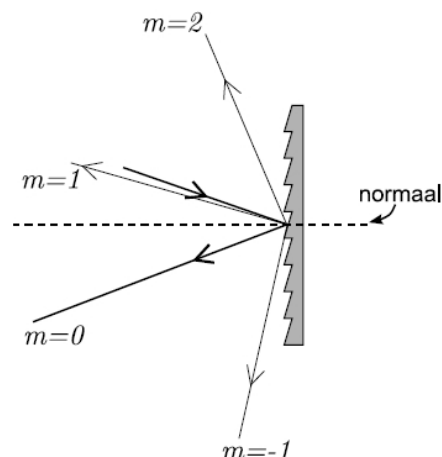
6. Spionage satelliet

Een spionage satelliet bevindt zich op een hoogte van 200 km boven het aardoppervlak. De satelliet kan foto's maken met een lens met een doorsnede van 20 cm. De camera is het gevoeligst voor een golflengte van $\lambda = 500$ nm; gebruik voor het gemak enkel deze golflengte in je berekening. De pixelgrootte van de chip in de camera is $\Delta x_{\text{pixel}} = 5 \mu\text{m}$.

- (a) Bereken de grootte van de fijnste details die met deze camera gezien kunnen worden op twee cijfers nauwkeurig. (2 punten)
- (b) Bereken de minimum benodigde brandpuntsafstand f van de lens om de fijnste details vast te kunnen leggen op twee cijfers nauwkeurig. (2 punten)

7. Reflectietralie

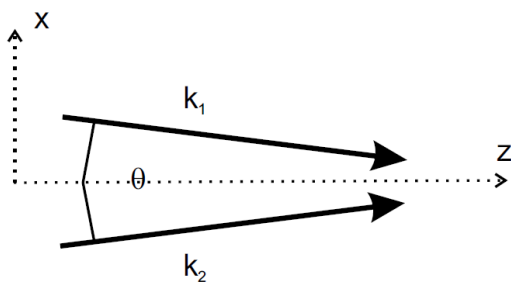
Een blazed optisch tralie met 1000 lijnen per millimeter wordt onder een hoek van 20° ten opzichte van de normaal beschenen met licht met een golflengte van 600 nm. Er zijn vier reflecties zichtbaar. (zie figuur)



- Bereken de sinus, cosinus of tangens van de hoeken ten opzichte van de normaal van het tralie voor de vier geschetste ordes $m = -1$, $m = 0$, $m = 1$, en $m = 2$. N.B. Geef je antwoord in drie cijfers achter de komma en gebruik hiervoor indien nodig: $\sin(20^\circ) = 0.342$, $\cos(20^\circ) = 0.940$ of $\tan(20^\circ) = 0.364$. (3 punten)
- Het geschetste tralie heeft de vorm van een zaagtand. Welk effect heeft deze vorm op de gereflecteerde bundels? (1 punt)
- We dompelen vervolgens de hele opstelling in een bak met water ($n = 1.33$). Beredeneer wat er gebeurt met de hoeken van de verschillende ordes. (1 punt)

8. Interferentiestrepen voor twee gekruiste bundels

Twee brede monochromatische laserbundels snijden elkaar onder een zeer kleine hoek $\theta = 0.001$ rad (zie figuur). In het gebied waar de bundels elkaar overlappen is een interferentiepatroon zichtbaar. De laserbundels hebben dezelfde optische golflengte λ , dezelfde amplitudo E_0 en dezelfde optische polarisatie (lineair in de y-richting). De hoek is klein genoeg om de paraxiale benadering toe te passen en de bundels zijn breed genoeg om ze als vlakke bundels te beschrijven.



- Geef een uitdrukking voor het optische veld $E(x, z, t)$ als som van twee vlakke golven met golfvectors $\mathbf{k}_1$ en $\mathbf{k}_2$ en leg uit hoe deze golfvectors afhangen van de hierboven genoemde variabelen. (2 punten)
- Laat zien dat de periode Λ tussen opeenvolgende maxima in het beschreven interferentiepatroon gelijk is aan $\Lambda \approx \lambda/\theta$. (2 punten)